Universitat Politècnica de Catalunya
(UPC) - BarcelonaTech

Facultat d'Informàtica de Barcelona (FIB)

Grado en Ingeniería Informática

Sistema basado en microprocesadores para la reproducción de una máquina Arcade

Autor:
Kilian Peiró Conde

Director:
Enric Xavier Martin Rull

Especialidad:
Ingeniería de computadores

Departamento:
ESAII

Abril 2018

Resumen

Hasta no hace mucho, hacía falta ir a un salón recreativo para poder jugar a algún videojuego. Gracias a la evolución de la informática, hoy en día podemos jugar desde nuestro *smartphone*, ordenador personal o videoconsola en nuestra propia casa. Gráficos, sonido, inteligencia artificial... muchas han sido las mejoras que se han ido aplicando a los videojuegos, no obstante, hay gente que añora los de antaño. Los emuladores nos permiten emular un largo número de videoconsolas y jugar a sus juegos, cumpliendo los deseos de esta gente. Este proyecto aprovecha los computadores de placa reducida y los microprocesadores para fabricar una máquina *arcade* que emulará diversas videoconsolas y un controlador para la misma.

Abstract

A few years ago, we needed to go to the amusement arcades to play video games. Thanks to developments on technology, today we can play games on our smartphone, personal computer or video game console. Graphics, music, artificial intelligence... video games have been hugely developed since then, however, some people still long for the old ones. Emulators are used to emulate a large number of video consoles and play their games, fullfilling the wishes of those people. This project uses single-board computers and microcontrollers to build an arcade machine that will emulate some video consoles and a controller.

Resum

Fins no fa molt, feia falta anar a un saló recreatiu per a poder jugar a un vodeojoc. Gràcies a l'evolució de la informàtica, avui dia podem jugar desde el nostre *smartphone*, ordinador personal o videoconsola a casa nostra. Gràfics, so, intel·liigència artificial... moltes han estat les millores que s'han anat aplicant als video jocs, no obstant, encara hi ha gent que sent nostàlgia per els d'abans. Els emuladors ens permeten emular un llarg número de video consoles i jugar als seus jocs, tornant realitat els desitjos d'aquesta gent. Aquest projecte aprofita les computadores de placa reduïda i els microprocessadora per fabricar una màquina *arcade* que emularà diferents video consoles i un controlador per la mateixa.

Agradecimientos:

A mi familia, por quererme y
aguantarme pese a todo.

A los amigos de la planta 1
del Edifici Omega, por todos
los buenos momentos.

Índice

1. Introducción

1.1. Contexto

Un emulador[1] es un hardware o software que permite a un dispositivo de computación comportarse como otro dispositivo de computación. Hay emuladores de muchos tipos, por ejemplo de impresoras, de sistemas operativos... En este proyecto nos centramos en los emuladores de videoconsolas.

Un emulador de videoconsola es un programa informático de ordenador, o algún otro dispositivo de computación, que es capaz de emular una videoconsola, bien sea de sobremesa o portátil, de modo que el ordenador pueda ser utilizado para jugar a videojuegos que fueron creados para esta consola o desarrollar juegos para la misma. Pueden ser utilizados para traducir juegos a otros idiomas, modificar juegos existentes o probar juegos de demostración. Los emuladores de consola pueden además ser utilizados entre consolas, haciendo que una consola de videojuegos moderna pueda emular a una más antigua.

Mi proyecto trata de la fabricación de una máquina *arcade low cost*, para ello, se usarán microprocesadores, dado su bajo coste de compra y de consumo eléctrico. La máquina *arcade* emulará videojuegos de diversas plataformas.

1.2. Estado del arte

Actualmente hay varias maneras de emular juegos *arcade*, ya que al fin y al cabo simplemente hace falta un ordenador medianamente potente, dependiendo de la consola a emular.

1.2.1. Ordenador de sobremesa

Es uno de los usos más comunes y casuales. Como un emulador es simplemente un programa, el usuario puede utilizar su ordenador de sobremesa para, de vez en cuando, jugar a videojuegos emulados. Hay páginas de descarga de emuladores[2] y de videojuegos[3] en la red.
Se puede usar teclado y ratón para jugar, o mandos de otras videoconsolas vía USB.

1.2.2. Ordenador de sobremesa en caja de máquina recreativa

Otro enfoque es tener un ordenador de sobremesa dentro de un mueble, con forma de caja de máquina recreativa y usarlo únicamente para emular videojuegos. Al no tener periféricos como teclado o ratón para navegar por el sistema operativo, estas configuraciones suelen usar múltiples emuladores en algo conocido como un gestor de emuladores, que permite ser navegado usando los botones y el *joystick* previamente configurados.

1.2.3. Ordenador de placa reducida en caja de máquina recreativa

Tras la llegada de ordenadores de placa reducida como Raspberry Pi u Odroid, muchos usuarios crearon software para poder emular videojuegos en estos ordenadores, presentando una máquina *arcade* más compacta y portable. Además, estos

ordenadores tienen bajo consumo, son baratos, y presentan unos pines laterales, conocidos como GPIO, a los que se les puede dar múltiples usos, como por ejemplo, configurar un *joystick* y botones de máquina recreativa. No obstante, se puede jugar con mandos de otras consolas vía USB. También se utilizan gestores de emuladores para navegar por la consola.

Figura 1: Ordenadores de placa reducida corriendo videojuegos *arcade*.

El enfoque de mi proyecto se centra en este tipo de ordenadores, por lo que utilizaremos este sistema.

1.2.4. Software de emulación

Los software actuales y más conocidos para gestión de emuladores son RetroPie[4], Lakka[5], PiPlay[6], recalbox[7] y emulationstation[8].

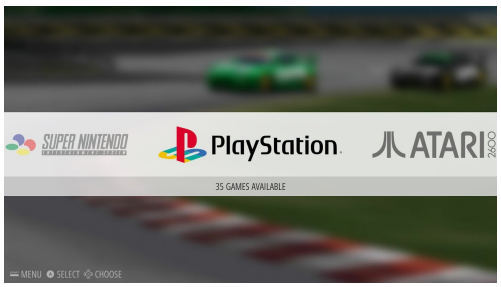


Figura 2: Pantalla de emulationstation.

Estos programas ofrecen un cómodo sistema de navegación para elegir a qué consola quieres jugar, y tienen uno o más emuladores para emularla. La mayoría suele utilizar RetroArch[9] o emulationstation como puente entre el programa y el emulador. Una de las diferencias más notables entre estos gestores (algunos aún en constante desarrollo) es el tipo de *input* que aceptan, esto es algo muy importante ya que hay gente a la que le gusta jugar con los mandos originales de las respectivas videoconsolas.

Todos estos gestores pueden ser utilizados por una Raspberry Pi.

2. Objetivos

El objetivo principal del proyecto es la fabricación de una máquina arcade. Vamos a usar una Raspberry Pi para correr el software de emulación y un PIC para detectar la pulsación de botones y el movimiento del *joystick*. Las máquinas *arcade* de antaño eran de un gran tamaño, se quiere dar a entender que, con la evolución de la tecnología, ahora podemos tener todo lo que ofrecían en un *housing* de tamaño reducido.

Los requisitos mínimos de esta máquina serán:

- Emulación de varios videojuegos de diversas videoconsolas.
- Ausencia de *lag* o retraso en los videojuegos.
- Comunicación entre la Raspberry Pi y el PIC, sin problemas de *input lag*, rebotes o pérdida de *input*.
- Fabricación de un mando utilizando el PIC, botones y un *joystick*.
- Permitir varios jugadores.
- *Housing* compacto y portable, que con una pantalla y dos tomas de corriente funcione en cualquier lugar.

3. Esquema del proyecto

En la Figura 3 se muestra un esquema del proyecto, para tener una idea general sobre la disposición de los diferentes componentes.

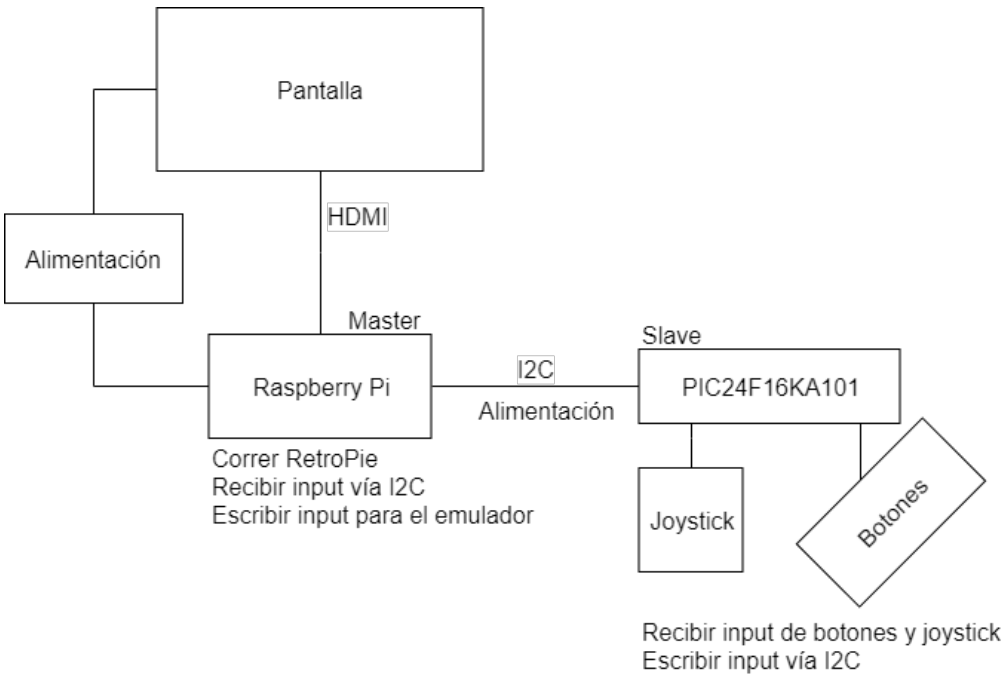


Figura 3: Esquema general del proyecto.

4. Control de mando: PIC24F16KA101

Los PIC[10] son una familia de microcontroladores tipo RISC fabricados por Microchip Technology Inc. y derivados del PIC1650, originalmente desarrollado por la división de microelectrónica de General Instrument.
Se utilizará el PIC24F16KA101 para la detección de pulsación de botones, detección de movimiento de *joystick* y para la comunicación con la Raspberry Pi. Se elige este PIC porque tiene los pines suficientes para poder llevar a cabo estas tareas.

Figura 4: PIC24F26KA101.

4.1. Software

Para poder introducir código en el PIC se usa un dispositivo llamado ICD3 [11], que se conecta entre un PIC y un ordenador utilizando algunos pines del PIC y el puerto USB del ordenador. El IDE que hemos utilizado es el oficial de Microchip, llamado MPLAB [12], ofrece herramientas para escribir código, *debug*, compilar, y facilitar algunas configuraciones internas y librerías del PIC.

4.2. Firmware

Las dos funciones del PIC son claras, debe guardar el *input* de botones y, cuando la Raspberry Pi pida los datos por I2C, saltará una interrupción para ofrecérselos.

Una de las primeras ideas fue utilizar una librería de I2C para el PIC, pero tras muchos intentos de hacer que funcionase, leer a gente con problemas similares no solucionados en los foros y ver que los ejemplos que proporcionaba la librería eran todos del PIC haciendo de *master*, se optó por no usarlas. Hubo cierto momento durante el proyecto en el que vi que sólo funcionaban algunos de los botones, esto era debido a que el PIC usa algunos pines para otras funcionalidades y hay que desactivarlas, algunas desde la configuración interna usando `#pragma config`, y otras desde el *main*.

Primero se desactivan algunas funcionalidades del PIC, para poder utilizar todos los pines:

```
// FBS
#pragma config BWRP = OFF // Boot segment may be written
#pragma config BSS = OFF  // No boot program Flash segment
// FGS
#pragma config GWRP = OFF // General segment may be written
#pragma config GCP = OFF  // General Segment Code Protection bit
// FOSCSEL
#pragma config FNOSC = FRCDIV // 8 MHz FRC oscillator with divide-by-N
#pragma config IESO = OFF     // Internal External Switchover
// FOSC
#pragma config POSCMOD = NONE   // Primary oscillator disabled
#pragma config OSCIOFNC = ON    // CLKO output disabled;
#pragma config POSCFREQ = HS    // Primary Oscillator Frequency
#pragma config SOSCSEL = SOSCHP // Secondary oscillator high-power
#pragma config FCKSM = CSDCMD   // Clock Switching and Monitor
// FWDT
#pragma config WDTPS = PS32768 // Watchdog Timer Postscale Select bits
#pragma config FWPSA = PR128   // WDT Prescaler
#pragma config WINDIS = OFF    // Standard WDT selected
#pragma config FWDTEN = OFF    // WDT disabled
// FPOR
#pragma config BOREN = BOR0  // Brown-out Reset disabled;
#pragma config PWRTEN = OFF  // Power-up Timer Enable bit
#pragma config I2C1SEL = PRI // Alternate I2C1 Pin Mapping bit
#pragma config BORV = V18    // Brown-out Reset to lowest voltage
#pragma config MCLRE = ON    // MCLR pin enabled
// FICD
#pragma config ICS = PGx1 // PGC1/PGD1 used for programming and debugging
// FDS
#pragma config DSWDTPS = DSWDTPSF // Deep Sleep Watchdog Timer Postscale
#pragma config DSWDTOSC = LPRC    // DSWDT uses LPRC
#pragma config RTCOSC = SOSC      // RTCC uses SOSC
#pragma config DSBOREN = OFF      // Deep Sleep BOR disabled
#pragma config DSWDTEN = OFF      // Deep Sleep Watchdog Timer Enable bit
```

Después se define la frecuencia y la dirección de *slave* del I2C, también se declaran variables y estados necesarios para el I2C:

```
#define Fosc (8000000) // 8MHz crystal
#define Fcy (Fosc*4/2) // w.PLL (Instruction Per Second)
#define Fsck 400000    // 400 KHz I2C
#define I2C1_BRG ((Fcy/2/Fsck)-1)
#define SLAVE_ADD 15   // slave address

typedef enum {
    STATE_WAIT_FOR_ADDR,
    STATE_WAIT_FOR_WRITE_DATA,
    STATE_SEND_READ_DATA,
    STATE_SEND_READ_LAST
} STATE;
volatile STATE e_mystate = STATE_WAIT_FOR_ADDR;

#define BUFFSIZE 15
volatile char  read_buffer[BUFFSIZE];  // master write slave read
volatile char  write_buffer[BUFFSIZE]; // master read slave write
volatile uint16_t buffer_index;
```

A continuación mostramos la interrupción del I2C. Generalmente el PIC se encuentra en estado `STATE_WAIT_FOR_ADDR`, cuando le llega una petición de escritura, cambia al estado `STATE_SEND_READ_DATA`, envía el estado de los 14 botones y pasa al estado `STATE_SEND_READ_LAST`, y de vuelta al estado `STATE_WAIT_FOR_ADDR`:

```
void __attribute__((__interrupt__, no_auto_psv )) _SI2C1Interrupt(void) {
    uint8_t u8_c;
    IFS1bits.SI2C1IF = 0;

    switch (e_mystate) {
    case STATE_WAIT_FOR_ADDR:
        u8_c = I2C1RCV; // clear RBF bit for address
        buffer_index = 0;

        if (I2C1STATbits.R_W) {
        // check the R/W bit and see if read or write transaction
            I2C1TRN = write_buffer[buffer_index]; // send first data byte
            buffer_index++;
            I2C1CONbits.SCLREL = 1;
            // release clock line so MASTER can drive it
            e_mystate = STATE_SEND_READ_DATA; // read transaction
        }
        else e_mystate = STATE_WAIT_FOR_WRITE_DATA;
        break;

    case STATE_WAIT_FOR_WRITE_DATA:
    // character arrived, place in buffer
       read_buffer[buffer_index] = I2C1RCV; // read the byte

       if (read_buffer[buffer_index] == 0) {
           e_mystate = STATE_WAIT_FOR_ADDR; // wait for next transaction
       }
       break;

    case STATE_SEND_READ_DATA:
       I2C1TRN = write_buffer[buffer_index];
       buffer_index++;
       I2C1CONbits.SCLREL = 1;
       // release clock line so MASTER can drive it
       if (write_buffer[buffer_index] == -1) e_mystate = STATE_SEND_READ_LAST;
       // last character, release the clock line again
       break;

    case STATE_SEND_READ_LAST:
    // this is interrupt for last character finished shifting out
        e_mystate = STATE_WAIT_FOR_ADDR;
        break;

    default:
       e_mystate = STATE_WAIT_FOR_ADDR;
   }
 }
```

En el programa principal se declaran los pines a usar como *input*, se limpian los canales de lectura y escritura del I2C, `write_buffer` y `read_buffer`, y se deshabilitan algunos módulos para que estos pines se puedan utilizar:

```
unsigned int i;
for(i = 0; i < BUFFSIZE; ++i) {
    read_buffer[i]  = 0;
    write_buffer[i] = 0;
}
read_buffer[BUFFSIZE - 1]  = -1;
write_buffer[BUFFSIZE - 1] = -1;

//disable modules to make buttons work
AD1PCFG = 0b1101110000111111;
PMD1    = 0b0011100001101001;
PMD2    = 0b0000000000000001;
PMD3    = 0b0000011010000000;
PMD4    = 0b0000000000001110;
IEC0    = 0x0000;
IEC1    = 0x0000;
IEC3    = 0x0000;
IEC4    = 0x0000;
CTMUCONbits.CTMUEN  = 0;
OSCCONbits.SOSCEN   = 0;
REFOCONbits.ROEN    = 0;
RCFGCALbits.RTCEN   = 0;
RCFGCALbits.RTCOE   = 0;
SPI1STATbits.SPIEN  = 0;
SPI1CON1bits.DISSCK = 1;
SPI1CON1bits.DISSDO = 1;
OC1CONbits.OCM2     = 0;
OC1CONbits.OCM1     = 0;
OC1CONbits.OCM0     = 0;
HLVDCONbits.HLVDEN  = 0;
CTMUCONbits.CTMUEN  = 0;
```

También se habilitan los pines y el I2C:

```
TRISA = 0xFFFF;
TRISB = 0xFFFF;

I2C1CONbits.I2CEN   = 1;
I2C1CONbits.I2CSIDL = 0;
I2C1CONbits.IPMIEN  = 0;
I2C1CONbits.A10M    = 0;
I2C1CONbits.DISSLW  = 1;
I2C1CONbits.SMEN    = 0;
I2C1CONbits.GCEN    = 0;
I2C1CONbits.STREN   = 1;

I2C1BRG = I2C1_BRG;
I2C1ADD = SLAVE_ADD;

IFS1bits.SI2C1IF = 0;
IPC4bits.SI2C1P2 = 1;
IPC4bits.SI2C1P1 = 1;
IPC4bits.SI2C1P0 = 1;
IEC1bits.SI2C1IE = 1;
```

Y en el bucle principal se leen los botones y el *joystick*:

```
while(1) {
    /******** Main Buttons ********/
    write_buffer[0]  = PORTAbits.RA1;
    write_buffer[1]  = PORTBbits.RB0;
    write_buffer[2]  = PORTBbits.RB1;
    write_buffer[3]  = PORTBbits.RB2;
    write_buffer[4]  = PORTAbits.RA2;
    write_buffer[5]  = PORTAbits.RA3;
    write_buffer[6]  = PORTBbits.RB4;
    write_buffer[7]  = PORTAbits.RA4;
    /********* Joystick ************/
    write_buffer[8]  = PORTBbits.RB15;
    write_buffer[9]  = PORTBbits.RB14;
    write_buffer[10] = PORTBbits.RB13;
    write_buffer[11] = PORTBbits.RB12;
    /******** Start+Select ********/
    write_buffer[12] = PORTAbits.RA6;
    write_buffer[13] = PORTBbits.RB7;
}
```

5. Control de emulador: Raspberry Pi

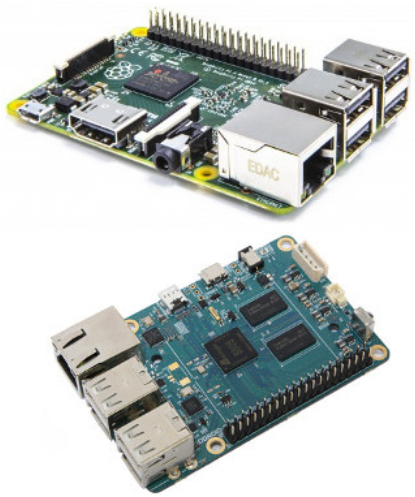


Figura 5: Raspberry Pi y Odroid.

Raspberry Pi[13] es un computador de placa reducida, del tamaño de una tarjeta de crédito, creado por *The Raspberry Pi Foundation* en 2012 para promover la docencia de ciencias de computación en escuelas y países subdesarrollados. Además de ser pequeña, tiene un precio muy asequible (de unos 30 euros) y consume entre 1.5 W y 6.7 W.

En la placa hay puerto *HDMI*, *USB*, *ethernet*... Además ofrece 40 pines, la mayoría programables, para poder añadir periféricos o comunicación con otros microprocesadores.

Las dos opciones para el computador de placa reducida eran Raspberry Pi o Odroid, me he decantado por Raspberry Pi porque ya había trabajado anteriormente con ella, además, hay mucha más documentación y soporte para la Raspberry Pi. Dentro de las múltiples versiones del computador, he decidido utilizar la Raspberry PI 3 ya que es la más nueva y cuenta con un mejor procesador.

5.1. Software

El software instalado en la Raspberry Pi es el sistema operativo que ofrece RetroPie, su imagen está basada en Raspbian Jessie, actualmente en estado *oldstable*.

RetroPie nos permite convertir nuestra Raspberry Pi en una máquina *arcade*, ofrece diferentes configuraciones y el usuario tiene acceso *root* a la consola, esto es obligatorio para el proyecto. También tiene diferentes opciones de energía, y abundantes métodos de entrada de datos.

5.2. Firmware

La Raspberry Pi se encarga de la emulación de videojuegos, de la comunicación con el PIC24F16KA101 y de la entrada de datos hacia el software de emulación, tanto RetroPie como retroarch. La parte de la emulación está más que cubierta usando el software de RetroPie, la parte de comunicación y entrada de datos se explica a continuación.

5.2.1. uinput

Para la entrada de datos, Linux tiene una carpeta de dispositivos en */dev* llamada */input*. En esta carpeta se añaden ficheros automáticamente al insertar dispositivos, con el nombre *event*X, siendo X un número empezando por 0.
La primera idea fue documentarse e intentar crear un dispositivo de entrada usando la librería de Linux *input.h*, pero se descartó porque ofrece muchas mas cosas de las

que se necesitan y la implementación es difícil para lo que se requiere.
La segunda idea, y la que se está utilizando actualmente, es usar una librería llamada *user input*, o *uinput.h*. Esta librería nos permite crear un dispositivo a nuestra elección usando pocos parámetros, y crea un fichero en */dev* llamado *uinput* y también crea el correspondiente *event*X en */dev/input*.

Se asignan los 14 botones (10 normales y 4 de *joystick*) a 14 teclas de un teclado, por tanto, la Raspberry Pi detecta el dispositivo *uinput* y su respectivo *event*X como un teclado de 14 teclas. Las teclas asignadas son **W A S D** para el *joystick* y **0 1 2 3 4 5 6 7 8 9** para los botones.

La primera prueba realizada fue con un botón en la misma Raspberry Pi, al apretar el botón aparecía el número **4** en la pantalla. También se probó en RetroPie, en el apartado de configuración de entrada de datos, que detectaba un teclado al pulsar el botón.
El primer fallo vino al probar un videojuego y ver que retroarch no detectaba el botón como método de entrada, por lo visto, el emulador únicamente acepta dispositivos de tipo *event*X en la carpeta */dev/input* en unos formatos específicos, incompatibles con el *uinput* implementado. La solución a este problema se explica en el apartado 5.2.2.

Una vez lograda la comunicación con el emulador, hacía falta implementar la comunicación I2C con el PIC para obtener los botones pulsados. Para esto he usado la librería bcm2835[14], que cuenta con funciones para el protocolo I2C. Al saber la dirección I2C del esclavo y el tamaño de los datos a leer, la implementación fue sencilla.

El código del programa uinput2.c se encuentra en el Anexo B.

5.2.2. xboxdrv y rc.local

Como crear un dispositivo usando la librería *input.h* era demasiado engorroso y tampoco me aseguraba que retroarch lo aceptase, busqué maneras alternativas para que se reconociese mi *event*X. Vi que los desarrolladores de RetroPie usan un *driver* llamado xboxdrv, que transforma cualquier tipo de entrada al tipo de entrada generado por un mando de XBOX360. Por conocimientos previos a este proyecto, se que el mando de la XBOX360 es uno de los más usados en comunidades de desarrollo *indie* por distintas facilidades y librerías que existen para él.

El *driver* se descarga desde el mismo RetroPie, y al ejecutar un comando de Bash con los datos necesarios, mi entrada *event*X pasa a ser *joystick*X, haciendo que la consola, RetroPie y retroarch detecten todos lo botones y el *joystick* perfectamente. Este proceso tiene que ser totalmente transparente a ojos del usuario, por tanto, se necesita que el programa *uinput2* y el comando *xboxdrv* se ejecuten en un *script* cada vez que se encienda la máquina.

Existe un fichero en Linux llamado *rc.local*, es un *script* que se ejecuta automáticamente al encender la máquina y es editable, es decir, se permite añadir comandos a este *script*, justo lo que se necesita.

La parte importante del *script* de muestra a continuación:

```
sudo /home/pi/ArcadeMachine-TFG/./uinput2 &
sleep 2

sudo /opt/retropie/supplementary/xboxdrv/bin/xboxdrv \
    --evdev /dev/input/event2 \
    --silent \
    --detach-kernel-driver \
    --force-feedback \
    --deadzone-trigger 15% \
    --deadzone 4000 \
    --mimic-xpad \
    --dpad-as-button \
    --evdev-keymap KEY_W=du,KEY_A=dl,KEY_S=dd,KEY_D=dr,KEY_1=start, \
                   KEY_2=back,KEY_3=a,KEY_4=b,KEY_5=x,KEY_6=y, \
                   KEY_7=lb,KEY_8=rb,KEY_9=tl,KEY_0=tr \
    &
```

Primero se ejecuta el programa *uinput*, seguidamente se esperan dos segundos para asegurar que el programa ha creado el dispositivo de entrada de datos y los demás parámetros necesarios. Después se ejecuta el comando *xboxdrv*, indicando que *event*X debe leer y asignando los 14 botones de nuestro teclado a 14 botones del mando de XBOX360.
Hay que tener en cuenta que el orden de aparición de los ficheros *event*X puede cambiar entre una sesión y otra, actualmente y sin conectar ningún dispositivo adicional, el fichero generado por el programa *uinput2* es *event2*.

6. Hardware: Esquemático de Eagle y montaje

En el entorno de pruebas se usaron cables de propósito general para unir el PIC a los botones y a la Raspberry Pi mediante *protoboard*. Posteriormente se soldó el PIC a una placa de topos, permitiendo un diseño más robusto y utilizando *WireWrap* hasta que, una vez conseguimos hacer que el proyecto funcionase, se soldaron todos los botones y el *joystick* a la placa de topos.

Para tener claro como se harían las soldaduras y no equivocarme, me ayudé de un esquemático de Eagle, que se muestra en la Figura 6.

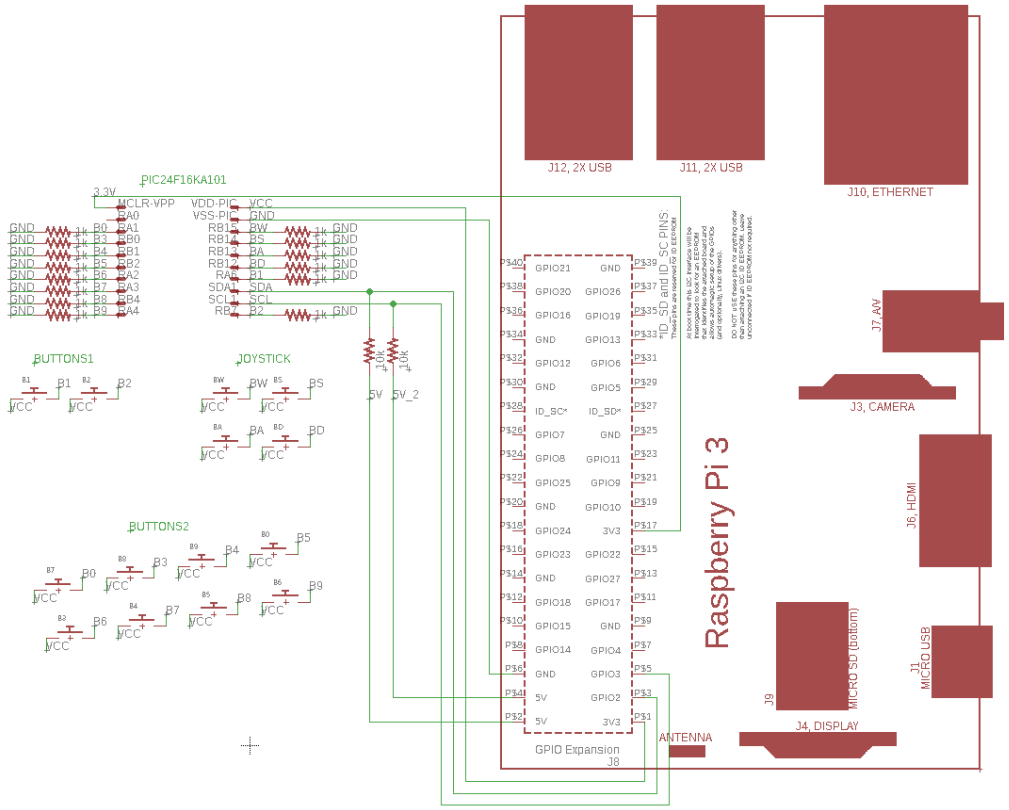


Figura 6: Esquemático de Eagle.

Para la Raspberry Pi y para el ICD3 se siguen usando cables normales, esto nos permite poder cambiar de Raspberry Pi y actualizar el *firmware* del PIC cuando queramos sin necesidad de eliminar soldaduras.

Las siguientes imágenes muestran las dos etapas del proyecto, la primera con cables normales y la segunda con soldaduras.

6.1. Primera versión

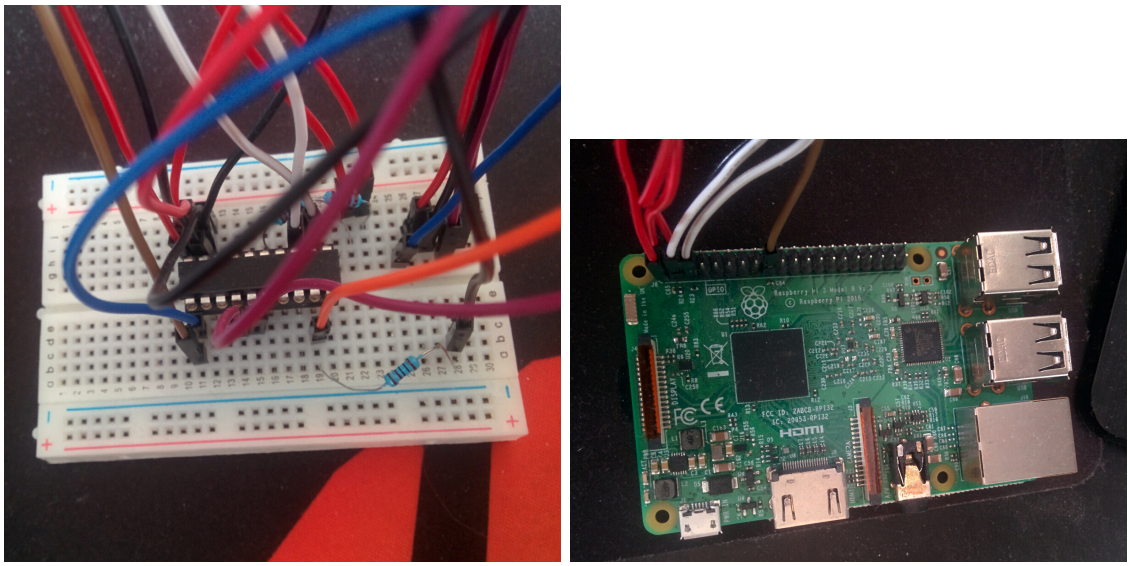


Figura 7: PIC24F16KA101 en *protoboard* y Raspberry Pi con cables normales.

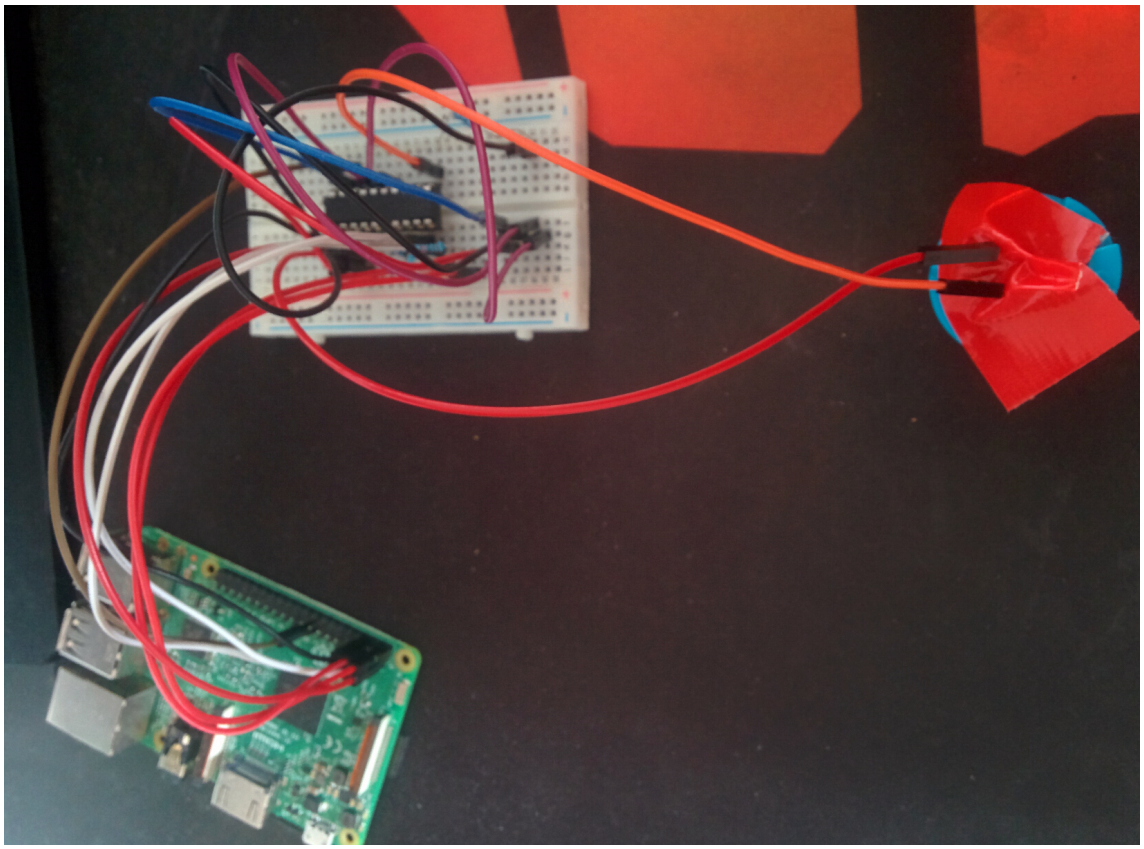


Figura 8: Versión para pruebas con sólo un botón.

6.2. Segunda versión

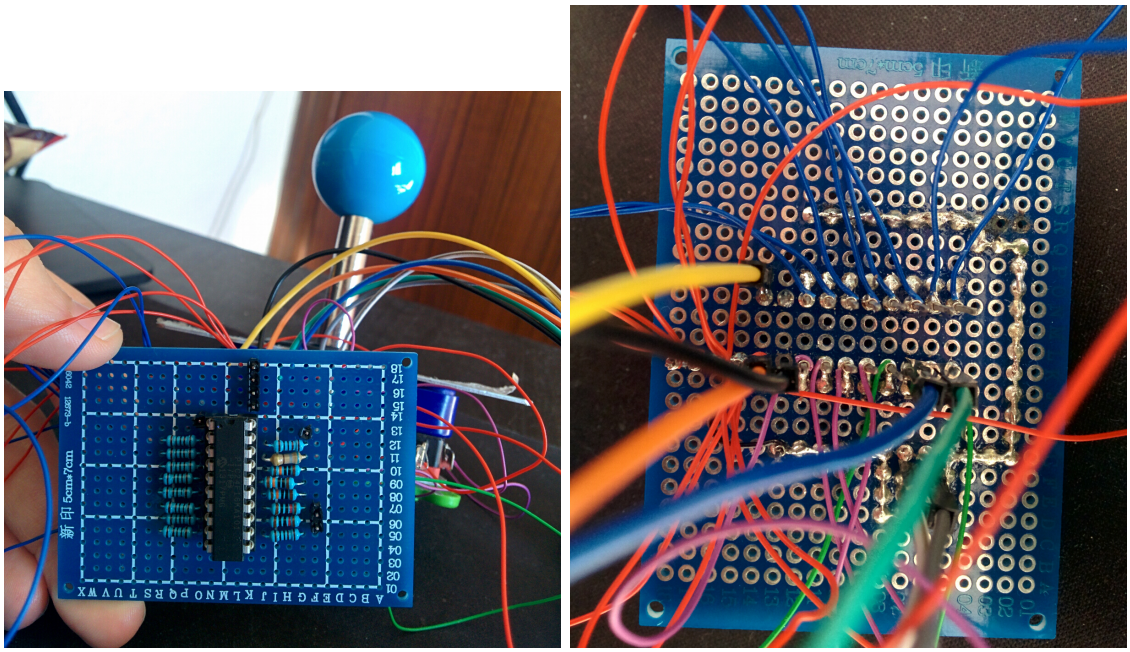


Figura 9: Soldaduras en una placa de topos, imágenes frontal y trasera.

6.3. Corrección de errores

Durante la elaboración del proyecto se rompieron algunos pines y vi que otros estaban muy saturados, por lo que soldé pines adicionales para solventar estos errores.

7. Gestión del Proyecto

A continuación se muestra la gestión del proyecto, realizada en Septiembre en la asignatura de GEP. Al haber extendido el TFG se han hecho algunas modificaciones.

7.1. Alcance

Teniendo en cuenta los objetivos del apartado 2, se necesita acotar el alcance del proyecto, los pasos a seguir se muestran a continuación.

7.1.1. Elección de hardware

Primero voy a probar diferentes emuladores en diferentes versiones de Raspberry Pi, se busca que no haya *lag* en los juegos, que haya un gran catálogo de juegos y que el gestor de emulador escogido permita el *input* necesario. Una vez elegidos, usaré siempre ese emulador y esa Raspberry Pi.

7.1.2. Entrada de datos y comunicación

Crear un programa o *firmware* que registre el *input* de un botón, primero directamente al microprocesador (Raspberry Pi) y después usando un intermediario (PIC o arduino).
Probar diferentes protocolos de comunicación, ya que voy a necesitar el que tenga menos *input lag*, menor tiempo desde que aprietas un botón hasta que ves el resultado en pantalla.
Una vez elegido el protocolo, ampliaré el código de un botón para que funcione con varios botones y *joystick*.

7.1.3. Manual de uso

Tengo que dejar claros los límites de mi creación, para que el usuario que lo vaya a utilizar no compre el producto con la idea de jugar a algo que va a tener mala usabilidad, es decir, no crear falsas expectativas.
Si es necesario el uso de alguna librería o servicio que no venga por defecto en el emulador, debe constar en el documento.

7.2. Metodología y rigor

7.2.1. Método de trabajo

Al ser un proyecto algo grande para una sola persona, es necesario algún método de planificación que nos permita ver las tareas hechas y por hacer, y tener una idea general del estado del proyecto.

Para el desarrollo del proyecto se utilizará la herramienta Trello[15], que permite al usuario organizar tarjetas en un tablero. En concreto utilizaremos una tabla Kanban[16], disponiendo las tarjetas en los diferentes estados:

- **Por hacer**: Tareas por realizar.
- **En proceso**: Tareas realizándose.
- **En espera**: Tareas a la espera de algo ajeno a nosotros, como que llegue una compra online o la respuesta a un correo electrónico.
- **Hecho**: Tareas realizadas.

El proyecto tiene la ventaja de tener unas etapas muy marcadas, por lo que en principio no va a hacer falta organizar las tareas por importancia, sino por etapas.

Con el fin de tener el código accesible desde cualquier ordenador con internet y guardar un historial del mismo, utilizaré un sistema de control de versiones llamado GitHub[17].

7.2.2. Métodos de evaluación

Es necesaria una manera de comprobar si lo que se ha ido haciendo hasta ahora funciona.

Para evaluar el *lag* de los emuladores usaré un visor de *frames* por segundo, el emulador y la Raspberry Pi con más *frames* por segundo serán los elegidos.

Para evaluar el código y comportamiento de los botones, se realizará el proceso en diferentes etapas, comprobando que la entrada de datos funciona en todas ellas. También se hará uso del osciloscopio cuando sea necesario.

7.3. Situación legal

Los emuladores, argumentan sus usuarios, permiten jugar a videojuegos que jugaron en su juventud y que ya no están disponibles de otra forma que no sea a través de la emulación, pero, como bien sabemos, no estamos pagando ni por la videoconsola ni por el videojuego que estamos emulando, por tanto, debemos saber en que marco legal nos encontramos. Nos centramos en las leyes del Ministerio de cultura de España [18], que no profundiza mucho en este tema, pero sí que hay varias leyes sobre la propiedad intelectual a las que nos deberemos ceñir.

7.3.1. Legalidad de emuladores

Pese a que muchas empresas están en contra, es legal implementar código que emule una consola en un ordenador, no obstante, para desarrollar el código no se puede usar el original, por tanto, mucha gente usa técnicas de ingeniería inversa para que no sea ilegal.

Ocurre lo mismo con la ROM de *firmware/BIOS* que necesitan algunas plataformas para poder funcionar. La ROM del fabricante está protegida por *copyright*, por lo que el código tiene que ser conseguido a través de ingeniería inversa.

7.3.2. Legalidad de ROMs de videojuegos

Los videojuegos están dentro de la categoría de programa de software, eso significa que tienen derechos de autor (igual que un libro, un cuadro, una película o una canción).
Por eso, la ley fija un plazo de tiempo durante el cual sólo los autores o las empresas de videojuegos que tengan esos derechos pueden venderte el juego, aunque sea en forma de ROM, en concreto, hasta que pasen 70 años de la muerte del autor (del último en caso de ser varios autores).
En el caso de que el *copyright* haya expirado, o si los desarrolladores ofrecen el videojuego libremente, es legal tener una ROM y jugarla.
También es legal tener una copia de seguridad hecha por nosotros mismos de algún videojuego, y jugarla en un emulador. Es legal tener una ROM de un videojuego que en su forma original tuviese algún *bug* o fallo que impida disfrutarlo, siempre y cuando aleguemos que la ROM sin el fallo la hayamos arreglado nosotros.
Si hemos comprado la ROM al propietario, también es legal jugarlo en cualquier plataforma, hay colecciones de ROMs en plataformas de distribución digital como Steam [19] en las que los mismos distribuidores guían a los consumidores sobre cómo usar la ROM en otras plataformas vía emulación.

En todos los demás casos, es ilegal poseer una ROM de un videojuego, y la multa por hacerlo se agrava cuanto más actual sea el juego y cuanto más al público lo ofrezcamos.

7.3.3. *Abandonware, freeware*

Con la llegada de los emuladores, mucha gente se ha entretenido programando y diseñando videojuegos para videoconsolas antiguas u obsoletas. La mayoría de gente lo hace por *hobby* y suele ofrecer la ROM en páginas especializadas [3] [20] [21].
En otros casos, programadores han pedido permiso a los desarrolladores originales para hacer un *port* a alguna videoconsola obsoleta o poco conocida, ofreciendo el código o la ROM gratuitamente, y se lo han concedido.

7.4. Planificación temporal

El tiempo aproximado para la realización de este proyecto es de 4 meses, comprendidos entre Septiembre de 2017 y Enero de 2018. Este documento presenta la planificación del proyecto, pero, a medida que se vaya realizando el mismo se pueden producir cambios en la planificación, para conseguir terminar el proyecto en el tiempo previsto. Separamos la planificación temporal en dos principales etapas, de los 18 créditos del TFG, 3 pertenecen a GEP y 15 a la realización del proyecto.

Debido a la extensión del proyecto, se han alterado algunos datos de la planificación, por ejemplo, la duración del proyecto ha sido de 7 meses, comprendidos entre Septiembre de 2017 y Abril de 2018. No obstante, la mayoría de planificación no se ha visto alterada, ya que el número de horas invertidas ha sido el mismo, únicamente más esparcidas.

7.4.1. Especificación del trabajo

En este apartado describimos al detalle los diferentes apartados del proyecto.

7.4.1.1. Gestión del proyecto

El trabajo realizado en la asignatura de GEP, correspondiente a 3 créditos, por tanto 90 horas. GEP consiste en la preparación y entrega de 6 documentos, separados por horas en la Tabla 1.

Documento	Horas
Alcance del proyecto y contextualización	20
Planificación temporal	20
Gestión económica y sostenibilidad	20
Presentación preliminar	10
Condiciones de especialidad	10
Documento final, presentación oral	10
Total	90

Tabla 1: .

7.4.1.2. Realización del proyecto

Los 15 créditos, 450 horas, correspondientes a la elaboración del proyecto. Sumados a las 90 horas de GEP, nos da un total de entre **540 horas**.
Calculo que cada mes haré 20 horas de memoria, esto puede variar dependiendo del trabajo hecho durante la semana.

7.4.1.2.1. Compra y testeo de componentes

Trabajo realizado durante los meses de Septiembre y Octubre, hay que pensar en los componentes necesarios para llevar a cabo el proyecto, además, habrá que hacer comparaciones en diferentes tiendas, y habrá que comprar los componentes para poder llevar a cabo el proyecto. Las etapas se muestran en la Tabla 2.

Etapa	Dependencias	Horas
Pensar en los componentes necesarios	-	20
Buscar los componentes en diferentes tiendas	Pensar en los componentes necesarios	30
Compra de componentes	Buscar los componentes en diferentes tiendas	10
Testeo de componentes	Compra de componentes	20
Memoria	-	20
Total		100

Tabla 2: Compra y testeo de componentes

7.4.1.2.2. Testeo de componentes y decisiones

Trabajo realizado durante el mes de Noviembre, se prueban las diferentes Raspberry Pi y emuladores para elegir los mejores, se toma una decisión final, se diseña el cableado y se realiza la memoria. Las etapas se muestran en la Tabla 3.

Etapa	Dependencias	Horas
Pruebas con diferentes Raspberry y emuladores	Testeo de componentes	40
Decisión final	Pruebas con diferentes SO y emuladores	10
Diseño del cableado	Decisión Final	30
Memoria	-	20
Total		100

Tabla 3: Testeo de componentes y decisiones

7.4.1.2.3. Cableado y programación del firmware

Cableado y programación del firmware: Etapa realizada durante los meses de Diciembre, Enero y Febrero, aquí realizamos el cableado diseñado previamente y empezamos a programar, finalmente se prueba el trabajo realizado. Las etapas se muestran en la Tabla 4.

Etapa	Dependencias	Horas
Cableado	Diseño del cableado	30
Programación del firmware	Decisión Final	50
Testeo del firmware	Programación del firmware, Cableado	20
Memoria	-	20
Total		120

Tabla 4: Cableado y programación del firmware

7.4.1.2.4. Retoques y *housing*

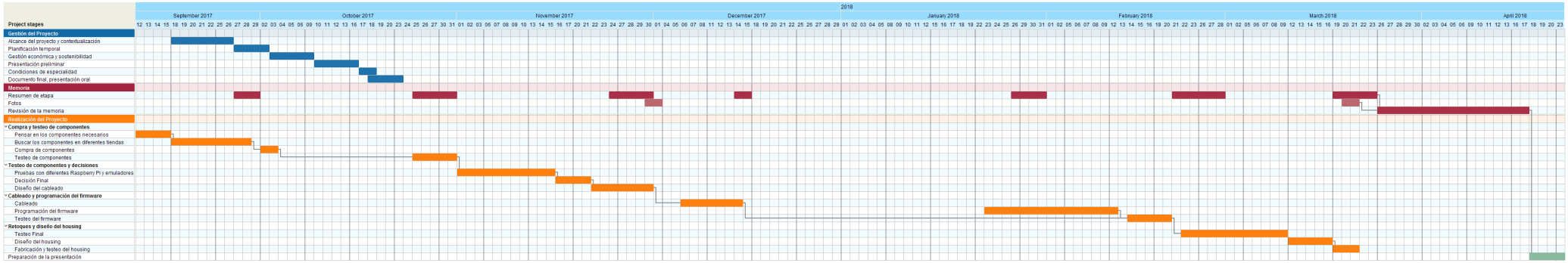
Etapa realizada durante los meses de Febrero y Marzo, en la que se hace un testeo final, haciendo todos los cambios necesarios. Si hubiesen muchos cambios, subetapas de esta etapa se moverían al mes de Abril, concretamente la revisión de la memoria y la realización de la presentación. Las etapas se muestran en la Tabla 5.

Etapa	Dependencias	Horas
Testeo Final	Testeo del firmware	40
Diseño del *housing*	-	20
Fabricación y testeo del *housing*	Diseño del *housing*	10
Revisión de la memoria	Memoria (todas las etapas)	50
Preparación de la presentación	Revisión Memoria	20
Total		140

Tabla 5: Retoques

7.4.2. Diagrama de Gantt

A continuación se adjunta el diagrama de Gantt, que muestra las diferentes etapas, subetapas y las semanas en los que está pensado hacerlas.
Gracias al Gantt tenemos una mejor visibilidad de la planificación del proyecto. También nos permite decidir si invertir más tiempo o no en alguna etapa, viendo la semana en la que estamos y las etapas hechas hasta la fecha.


2018
September 2017
October 2017
November 2017
December 2017
January 2018
February 2018
March 2018
April 2018
Project stages
Gestión del Proyecto
Alcance del proyecto y contextualización
Planificación temporal
Gestión económica y sostenibilidad
Presentación preliminar
Condiciones de especialidad
Documento final, presentación oral
Memoria
Resumen de etapa
Fotos
Revisión de la memoria
Realización del Proyecto
Compra y testeo de componentes
Pensar en los componentes necesarios
Buscar los componentes en diferentes tiendas
Compra de componentes
Testeo de componentes
Testeo de componentes y decisiones
Pruebas con diferentes Raspberry Pi y emuladores
Decisión Final
Diseño del cableado
Cableado y programación del firmware
Cableado
Programación del firmware
Testeo del firmware
Retoques y diseño del housing
Testeo Final
Diseño del housing
Fabricación y testeo del housing
Preparación de la presentación

7.5. Gestión económica

En este apartado se muestra una tabla para cada tipo de recurso junto con sus gastos, también se revisan los imprevistos y el presupuesto total.

7.5.1. Recursos Humanos

En la Tabla 6 se tratan los costes del tiempo que han tardado las personas en llevar el proyecto a cabo.

	Dedicación(horas)	**Precio(€/hora)**	**Coste Total(€)**
Director de proyecto	30	32.29	968.70
Responsable de lab.	6	21.48	128.88
Becario	450	14.84	6,678.00
Total			**7,775.58 €**

Tabla 6: Costes de recursos humanos.

7.5.2. Recursos Software

En la Tabla 7 se tratan los costes del software necesario para llevar el proyecto a cabo. Como se puede observar, la mayoría del software es libre, o podría serlo, por lo que no tiene coste.
Las siglas **PDC** indican Precio de Compra

Programa	**Vida(años)**	**Uso(horas)**	**Amor.**	**PDC(€)**	**Precio(€)**
Ubuntu	3	200	0.03	0	0.00
RetroPie	3	50	0.01	0	0.00
Eagle	3	20	0.00	400	1.33
SketchUp	3	10	0.00	0	0.00
MPLAB	3	80	0.01	0	0.00
GitHub	3	10	0.00	0	0.00
Trello	3	10	0.00	0	0.00
Google Drive	3	10	0.00	0	0.00
Android	3	10	0.00	0	0.00
Overleaf	3	50	0.01	0	0.00
Total					**1.33 €**

Tabla 7: Costes de recursos software.

7.5.3. Recursos Hardware

En la Tabla 8 se tratan todas esas herramientas y máquinas que tienen una vida útil más grande que el tiempo de uso que le hemos dado, por tanto, indicamos también la amortización del producto y el precio en base a la amortización.

	Vida(años)	Uso(h)	Amor.	Tienda	PDC(€)	Precio(€)
Herramientas						
kit Soldador	4	60	0.01	Amazon	21.59	0.16
Alicates	4	3	0.00	Aliexpress	1.38	0.00
Herr. WireWrap	4	10	0.00	Aliexpress	10.25	0.01
Multímetro	4	10	0.00	Amazon	7.01	0.01
Bolígrafo	4	2	0.00	Aliexpress	0.46	0.00
Teclado y ratón	4	300	0.04	Amazon	24.99	1.00
Protoboard	4	200	0.04	Amazon	3.15	0.13
Máquinas						
Smartphone	1	10	0.00	Google	340.00	1.69
Ordenador	3	300	0.05	Amazon	499.00	24.95
Pantalla	3	300	0.05	Amazon	499.00	24.95
Osciloscopio	3	60	0.01	Amazon	136.99	1.36
Impresora 3D	3	8	0.00	Aliexpress	155.17	0.21
Raspberry Pi 0	3	10	0.00	Amazon	25.50	0.04
Raspberry Pi	3	10	0.00	Amazon	30.00	0.05
Raspberry Pi 3	3	300	0.05	Amazon	34.90	1.75
Total						**56.67 €**

Tabla 8: Lista de máquinas y herramientas usadas.

7.5.4. Consumibles

En la Tabla 9 se tratan los costes de consumibles, es decir, todos los componentes que se van a utilizar únicamente para el proyecto.

Consumible	Tienda	Precio(€)
PIC24F16KA101	Amazon	7.25
Kit Electrónica	Aliexpress	8.96
Botones y Joystick	Aliexpress	11.08
WireWrap	Aliexpress	7.42
Placa de topos	Amazon	6.99
Cables	Amazon	7.09
Alimentación	Amazon	20.00
Tarjeta SD	Amazon	14.00
Total		**82.79 €**

Tabla 9: Lista de consumibles usados.

7.5.5. Costes indirectos

En la Tabla 10 se tratan los costes indirectos, como podría ser el alquiler del piso, el alquiler de un aula para reunirme con el director, el gasto de electricidad de un ordenador, de la Raspberry Pi, y otros gastos, como tener que comer en la universidad debido a haberse reunido con el director.

	Precio(€/mes)	**Duración(meses)**	**Coste Total(€)**
Aula FIB	100	4	400
T-jove 1 zona	35	3	105
Alquiler	300	4	1200
Electricidad	60	4	240
Otros gastos	80	4	320
Total			**2,265.00 €**

Tabla 10: Costes indirectos.

7.5.6. Presupuesto final

Finalmente se muestra la suma de todos los costes agrupados en la Tabla 11.

Tipo	**Precio(€)**
Recursos Humanos	7,775.58
Recursos Software	1.33
Recursos Hardware	56.67
Consumibles	82.79
Costes indirectos	2,265.00
Total	**10,181.37 €**

Tabla 11: Coste total del proyecto.

Vemos que el coste total ronda los 10,000 euros, y que los campos más costosos son los de recursos humanos y los costes indirectos, además, estos campos ya se han ajustado bastante, por lo que no los vamos a poder abaratar.

7.5.7. Imprevistos y contingencias

Los posibles errores son mal diseño de cableado y firmware mal programado. Ambos errores conducen al mismo problema: Quemar algún pin de la Raspberry Pi 3 B o del PIC24F16KA101.

Quemar un pin de la Raspberry Pi es menos problemático, ya que tiene muchos y se pueden usar cambiando un poco el código. Tenemos los pines del PIC muy justos para lo que queremos diseñar, sobran exactamente dos pines, por lo que si cometemos más de dos fallos podríamos tener problemas.
En el caso de quemar el chip entero, claramente, es más problemático quemar la Raspberry Pi que el PIC, ya que la primera es más costosa.

Para solventar estos problemas, disponemos del osciloscopio y del conocimiento sobre electrónica obtenido en las asignaturas de la especialidad.

Se estima un porcentaje de contingencia del 5 %, ya que el presupuesto está muy detallado y muchos de los recursos usados no tienen coste.

7.6. Sostenibilidad y compromiso social

En la Tabla 12 se muestra la matriz de sostenibilidad del proyecto, en los siguientes apartados se profundizan los aspectos ambientales, económicos y sociales del mismo.

	PPP	Vida útil	Riesgos
Ambiental	Consumo del diseño	Huella ecológica	Ambientales
	10:10	20:20	0:0
Económico	Factura	Plan de viabilidad	Económicos
	10:10	20:20	0:0
Social	Impacto personal	Impacto social	Sociales
	10:10	10:20	-5:0
Rango sostenibilidad	30:30	50:60	-5:0
	75:90		

Tabla 12: Matriz de sostenibilidad.

Los aspectos ambientales y económicos son altos debido a que utilizamos microprocesadores, de bajo coste energético y económico. El rango de sostenibilidad tiene una puntuación de 75 sobre 90.

7.6.1. Dimensión Ambiental

En este proyecto se trabaja con el hardware más económico y de los que menos consumen. Se utilizan una Raspberry Pi y un PIC, ambos con un consumo inferior a 5 W. Además, los componentes que utilizamos en el proyecto son los que el usuario se lleva finalmente a casa.

La alternativa a mi proyecto es usar una máquina arcade, que consume mucho más, u otro emulador con un hardware similar, que tendría unos costes energéticos similares, por tanto, se disminuye la huella ecológica usando mi producto.

Hay algunos componentes que van a sobrar, como por ejemplo el cable de WireWrap, que se utilizará para otros proyectos. También hay otros componentes que se reutilizarán, como el caso de la pantalla, el teclado y el ratón.
Si queremos desmantelar por completo mi proyecto, la Rapberry Pi y el PIC se pueden reutilizar totalmente.

7.6.2. Dimensión Económica

En la gestión del proyecto se ha realizado una tabla detallada con todos los costes, también se tienen en cuenta imprevistos y planes de contingencia.

El proyecto tiene competidores, ya existen prototipos parecidos al mío. El proyecto se podría hacer en menos tiempo comprando algunos componentes directamente con el firmware instalado, pero parte de la magia y la gracia del proyecto está en hacerlo desde cero. Además, probablemente comprar estos componentes acabaría

siendo más caro que el enfoque actual.

Se podrían abaratar costes si quisiéramos realizar el proyecto a gran escala, pidiendo placas con el firmware programado a China, pero el prototipo propuesto en este proyecto ya tiene un coste lo suficientemente bajo como para no ser un problema.

7.6.3. Dimensión Social

España se encuentra en un leve crecimiento económico, saliendo de la crisis de 2008. No obstante, la economía del país es claramente mejorable, al igual que la calidad de vida. En el aspecto político, estamos en una situación difícil, ya que Cataluña quiere independizarse de España, y el estado ha actuado con políticas de suspensión de derechos (Artículo 155) y con brutalidad policial en la comunidad autónoma de Cataluña.

En España, la industria del videojuego es considerada como una industria cultural, por tanto, este proyecto tiene el claro objetivo de mejorar la calidad de vida de la gente, permitiendo a jóvenes y a mayores disfrutar de juegos antiguos y crear lazos y amistad.
En Cataluña hay mucha cultura del videojuego *retro* o *arcade*, por tanto, este proyecto ayuda a las comunidades que quieran fabricar una máquina *arcade* compacta de bajo coste.

Figura 10: Retrobarcelona, evento dedicado a la informática y al videojuego clásico en Barcelona.

A nivel global, este proyecto también ayuda, ya que, aunque en otros países los videojuegos no sean considerados cultura o arte, también hay un inmenso público que dedica su tiempo a entretenerse con este maravilloso ocio. Este proyecto también puede ayudar a gente que esté empezando a aprender electrónica y programación a bajo nivel, ya que el código utilizado no es muy complejo, utilizando la excusa de crear una máquina *arcade* la gente aprendería a soldar, programar y Linux.

Hay organizaciones en contra de los videojuegos, estas organizaciones verían este proyecto como algo malo o nocivo para la sociedad.

8. Resultados

Una vez acabado el proyecto miramos si hemos cumplido los objetivos propuestos al principio del proyecto.

La Raspberry Pi emula numerosos juegos de diversas consolas gracias a RetroPie y retroarch, la mayoría de juegos tienen ausencia de *lag*, aunque es posible encontrar *lag* si se juega a algún videojuego de consolas actuales o potentes.
Como en principio la idea era emular videojuegos *arcade* antiguos, estos dos puntos se han cumplido correctamente. Todos los juegos que he probado funcionan a 30FPS o más.

Se ha fabricado un mando o controlador con *joystick* y 10 botones utilizando un PIC, que comunica la entrada de datos a la Raspberry Pi usando el protocolo I2C, sin problemas de *input lag*, rebotes o pérdida de *input*. El tiempo de respuesta desde que se aprieta un botón hasta que obtenemos el resultado es de unos 50 mili segundos, muy parecido al de un teclado convencional.

El proyecto actual está hecho para un solo jugador, pero el diseño permite en principio varios jugadores, se explica en el apartado 9.1.

A continuación mostramos varias imágenes de los resultados.

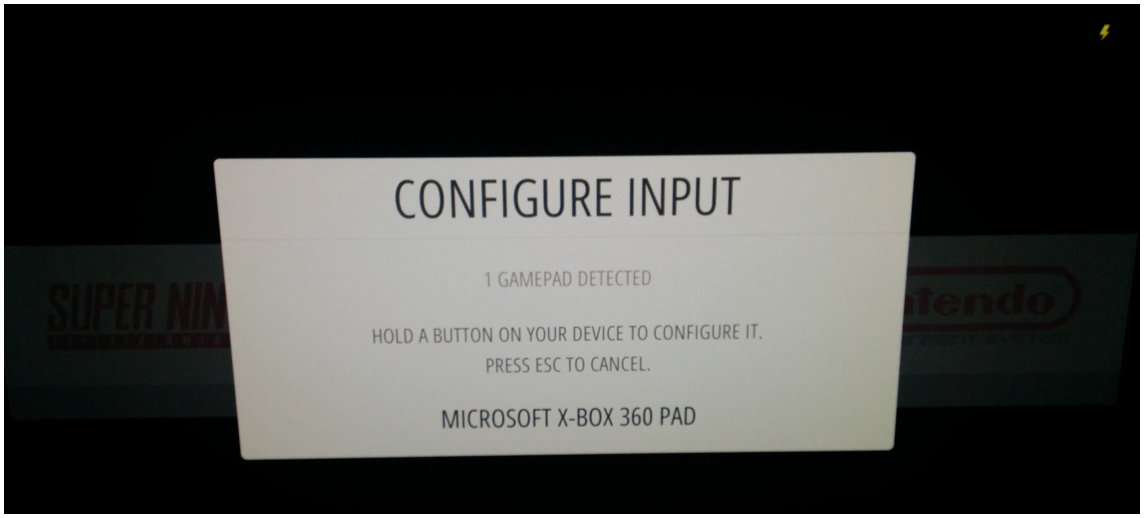


Figura 11: El programa detecta nuestro mando como un mando de XBOX 360.

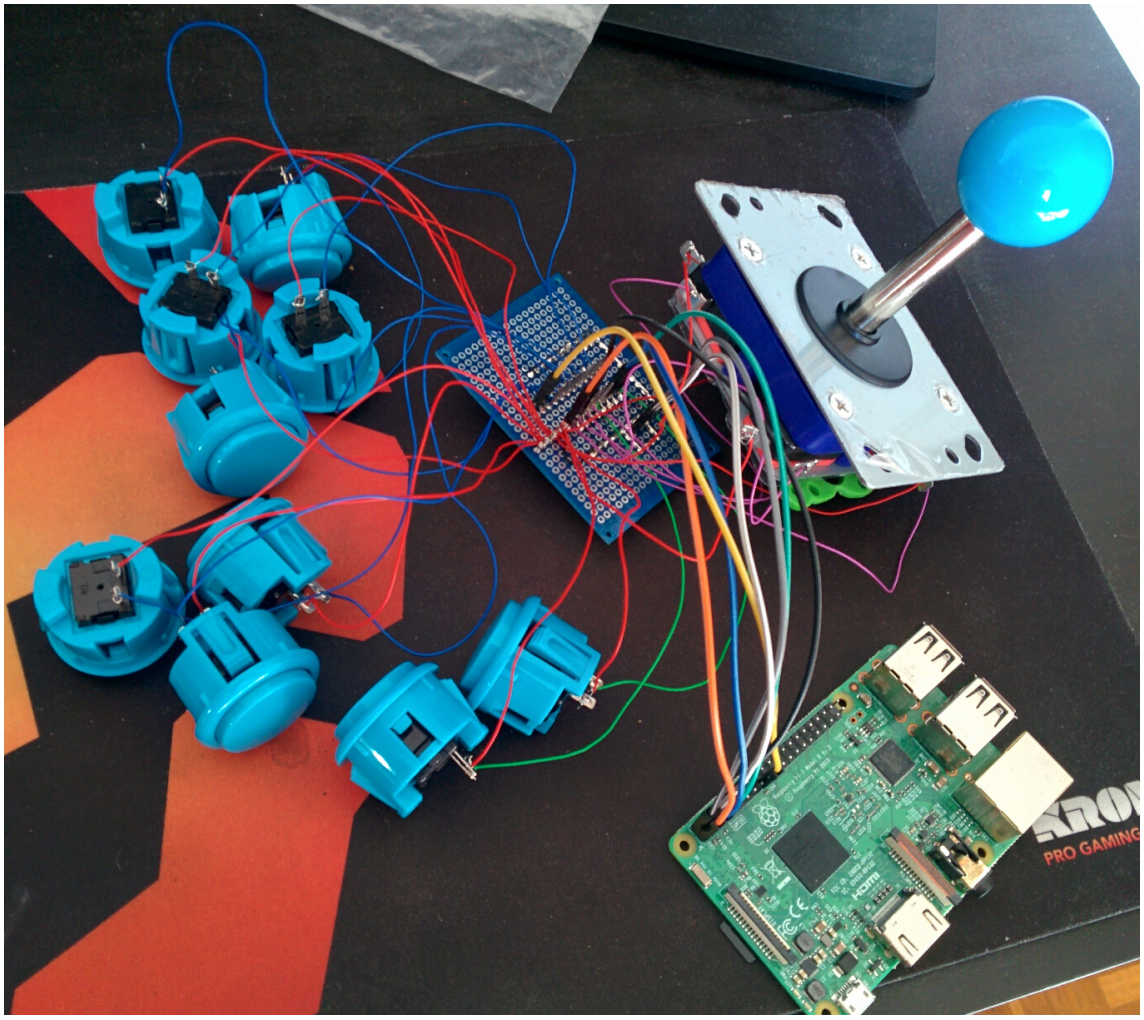


Figura 12: Versión final, a falta de conseguir un *housing*.

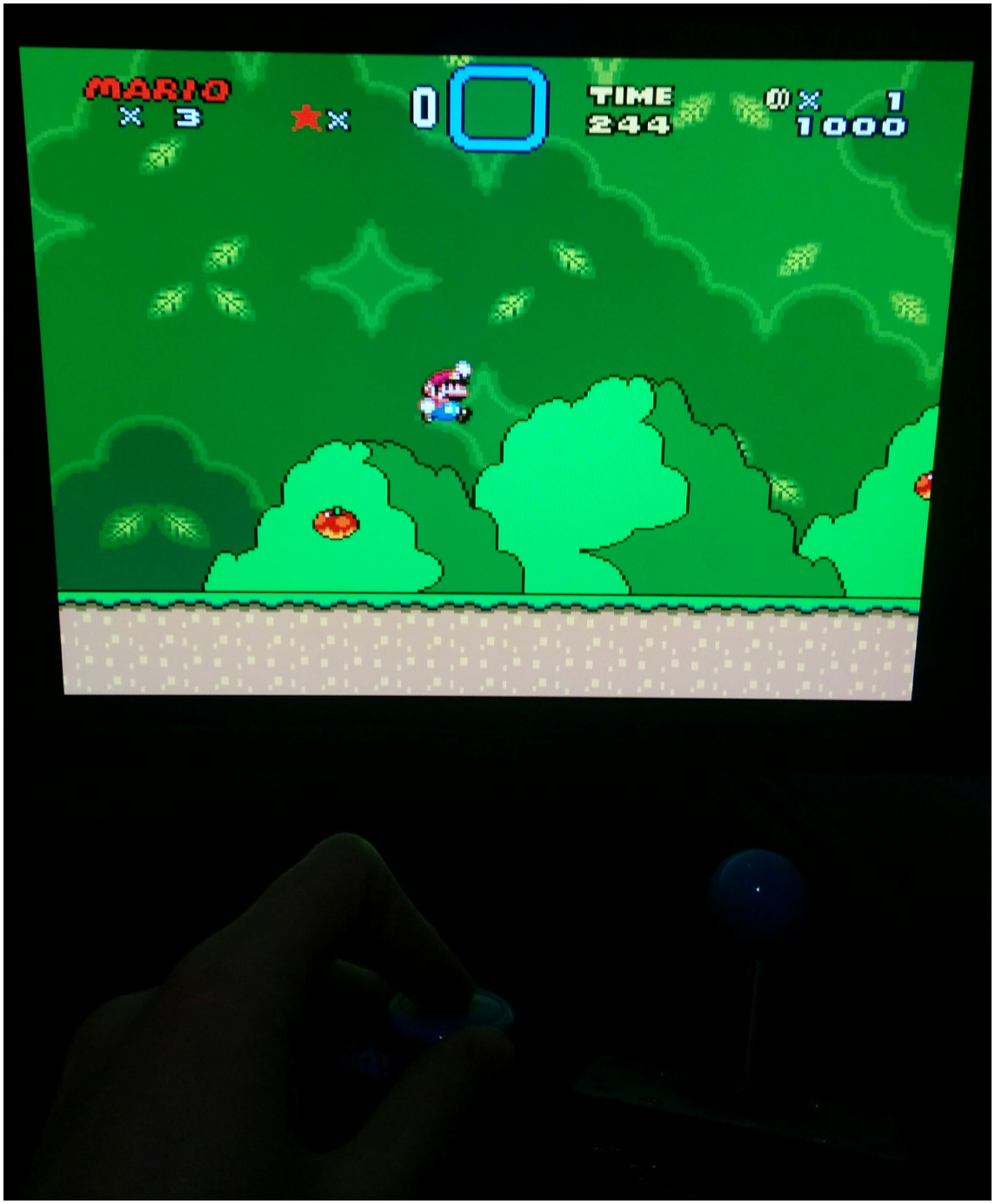


Figura 13: Al apretar un botón, hacemos que el personaje salte.

También mostramos un esquema del software que se ejecuta en la Raspberry Pi y el PIC desde que se encienden hasta que el usuario puede jugar.

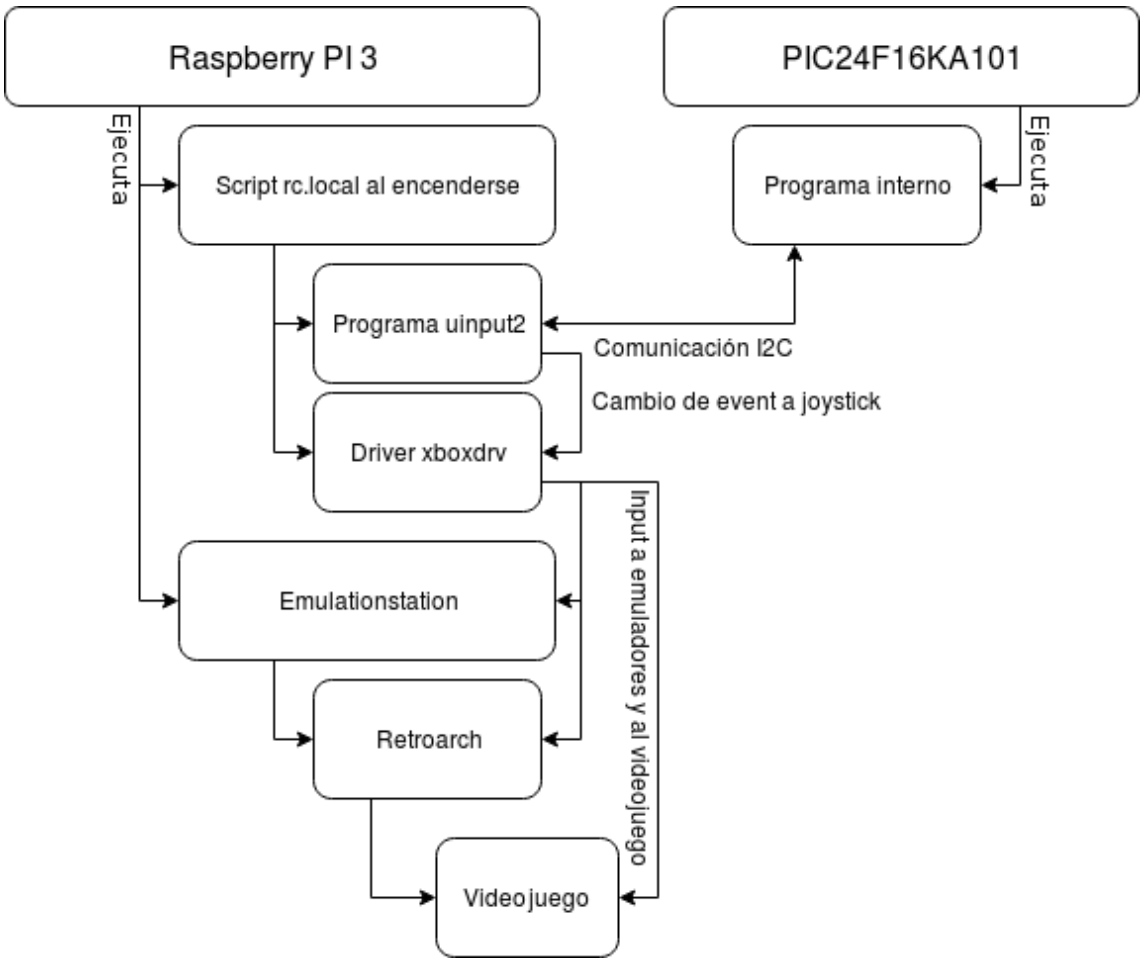


Figura 14: Esquema del software

9. Conclusiones

Este proyecto me ha ayudado a consolidar muchos aspectos de la carrera, además he podido trabajar en un proyecto interesante pensado por mí, haciendo que las dificultades fuesen mucho más amenas. Tengo pensado seguir mejorando un poco la máquina *arcade* y utilizarla para jugar de vez en cuando.
También me ha gustado mucho trabajar con la Raspberry Pi, probablemente la utilice para futuros proyectos, ya que ofrece numerosas posibilidades.

9.1. Posibles ampliaciones

Hay dos ampliaciones para el proyecto que tengo claras y que van algo ligadas, la primera es cómo permitir varios jugadores y la segunda es cómo adecuar el *housing* para prototipos de varios jugadores.
9 El código actual es para un único jugador, pero si quisiéramos ampliarlo a varios,

el proceso a seguir sería el siguiente:

- Comprar PICs adicionales, ya que cada mando/jugador necesita un PIC, también 10 botones y un *joystick* por jugador.
- Asignar una dirección de esclavo diferente a cada mango en el código del PIC, es el único cambio a hacer en este código.
- En el código de la Raspberry Pi, se puede resolver el problema de varias maneras, la que parece más sencilla sería la siguiente: hace falta añadir tantos *buffers* y dispositivos *uinput* como jugadores haya. En el momento de hacer la petición por I2C, la Raspberry Pi debería iterar por cada jugador antes de escribir el *input* en el dispositivo correspondiente.
- En el script *rc.local* haría falta crear un joystick por cada *event*X que se haya generado, utilizando el comando *xboxdrv*.

A la hora de adecuar el *housing*, no hay más remedio que tener tres prototipos diferentes, para uno, dos o cuatro jugadores.

Referencias

[1] Wikipedia. *Emulador*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Emulator.

[2] emuparadise. *Web de emuladores*. URL: https://www.emuparadise.me/Emulators.php.

[3] Kojote. *Pdroms Masthead / Impressum*. URL: https://pdroms.de/masthead.

[4] Herb Fargus y Jools Wills. *Gestor de emuladores RetroPie*. URL: https://retropie.org.uk/.

[5] libretro. *Gestor de emuladores Lakka*. URL: http://www.lakka.tv/.

[6] Shea Silverman. *Gestor de emuladores PiPlay*. URL: https://piplay.org/.

[7] digitallumberjack. *Gestor de emuladores Recalbox*. URL: https://www.recalbox.com/.

[8] Alec Lofquist. *Gestor de emuladores Emulationstation*. URL: https://emulationstation.org/.

[9] The libretro team. *Gestor de emuladores Retroarch*. URL: http://www.retroarch.com/.

[10] Microchip Technologies. *PIC microcontroller*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/PIC_microcontroller.

[11] Wikipedia. *MPLAB ICD3*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/MPLAB_devices#MPLAB_ICD_3.

[12] Microchip. *MPLAB X IDE*. URL: https://www.microchip.com/mplab/mplab-x-ide.

[13] The Raspberry Pi foundation. *Raspberry PI webpage*. URL: https://www.raspberrypi.org/.

[14] Mike McCauley. *C library for Broadcom BCM 2835 as used in Raspberry Pi*. URL: http://www.airspayce.com/mikem/bcm2835/.

[15] Atlassian. *Trello*. URL: https://trello.com/.

[16] Wikipedia. *Tabla Kanban*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Kanban_board.

[17] Chris Wanstrath. *GitHub*. URL: https://github.com/.

[18] Ministerio de Cultura de España. *Ley de Propiedad Intelectual*. URL: http://noticias.juridicas.com/base_datos/Admin/rdleg1-1996.html.

[19] Gabe Newell. *Steam*. URL: https://store.steampowered.com/.

[20] Shiru. *Shiru's Stuff*. URL: https://shiru.untergrund.net/.

[21] Ben McLean. *Where to (legally) acquire content to play on RetroPie*. URL: https://retropie.org.uk/forum/topic/10918/where-to-legally-acquire-content-to-play-on-retropie.

[22] Jeremy Blum. *Tutorial 1 for Eagle: Schematic Design*. URL: https://www.youtube.com/watch?v=1AXwjZoyNno.

[23] Microchip. *PIC24F16KA102 Family Data Sheet*. URL: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39927c.pdf.

[24] Microchip. *PIC24F16KA102 Family Silicon Errata and Data Sheet Clarification.* URL: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/80000473p.pdf.

[25] Microchip. *Microchip Inter-Integrated Circuit (I2C).* URL: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/70000195f.pdf.

[26] Microchip. *I2C for PIC16.* URL: http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00000734C.pdf.

[27] Microchip. *I2C Library for PIC.* URL: http://pat.cybersites.ca/docs/PIC24F/I2C_(16KA101).html.

[28] Bootlin. *Linux input.h.* URL: https://elixir.free-electrons.com/linux/v2.6.38/source/include/linux/input.h.

[29] The kernel development community. *Linux uinput module.* URL: https://www.kernel.org/doc/html/v4.12/input/uinput.html#examples.

[30] The kernel development community. *The Linux input driver subsystem.* URL: http://www.infradead.org/~mchehab/kernel_docs_pdf/linux-input.pdf.

[31] Linus Torvalds. *Linux evdev.c.* URL: https://github.com/torvalds/linux/blob/master/drivers/input/evdev.c.

[32] retroPie. *Universal Controller Calibration and Mapping Using xboxdrv.* URL: https://github.com/RetroPie/RetroPie-Setup/wiki/Universal-Controller-Calibration-&-Mapping-Using-xboxdrv.

[33] Zippyy. *Zippyy joystick operation manual.* URL: https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Components/Switches/ZippyyStick.pdf.

[34] Brad Boegler. *PIC18F C18 Implemented I2C Slave Communication.* URL: https://bradthx.blogspot.com.es/2011/11/pic18f-c18-implemented-i2c-slave.html.

[35] asmallri. *PIC24 I2C Slave problem.* URL: https://www.microchip.com/forums/m531613.aspx.

[36] ronzzer. *PIC 24F I2C slave issue.* URL: https://stackoverflow.com/questions/47586635/pic-24f-i2c-slave-issue?rq=1.

[37] A.R.T. *I2C Slave (interrupt).* URL: https://www.microchip.com/forums/m354234.aspx.

[38] Gregory Ember. *MAME - Legal.* URL: http://mamedev.org/legal.html.

[39] molsupo. *ROMs, ISOs, derecho y video juegos.* URL: http://www.pixelacos.com/la-leyenda-de-las-24-horas-roms-isos-derecho-y-videojuegos/.

[40] Javier Pastor. *Emuladores, ROMs y legalidad.* URL: https://www.xataka.com/videojuegos/emuladores-roms-y-el-debate-entre-la-nostalgia-el-amor-a-lo-retro-y-la-ilegalidad.

Anexo

A. newmainXC16.c

```
/*
 * File:   newmainXC16.c
 * Author: Kilian
 */

// FBS
#pragma config BWRP = OFF // Boot segment may be written
#pragma config BSS = OFF  // No boot program Flash segment
// FGS
#pragma config GWRP = OFF // General segment may be written
#pragma config GCP = OFF  // General Segment Code Protection bit
// FOSCSEL
#pragma config FNOSC = FRCDIV // 8 MHz FRC oscillator with divide-by-N (FRCDIV)
#pragma config IESO = OFF     // Internal External Switchover disabled
// FOSC
#pragma config POSCMOD = NONE   // Primary oscillator disabled
#pragma config OSCIOFNC = ON    // CLKO output disabled
#pragma config POSCFREQ = HS    // Primary Oscillator Frequency Configuration
#pragma config SOSCSEL = SOSCHP // Secondary oscillator high-power
#pragma config FCKSM = CSDCMD   // Clock Switching and Monitor
// FWDT
#pragma config WDTPS = PS32768 // Watchdog Timer Postscale Select bits
#pragma config FWPSA = PR128   // WDT Prescaler ratio
#pragma config WINDIS = OFF    // Standard WDT selected
#pragma config FWDTEN = OFF    // WDT disabled
// FPOR
#pragma config BOREN = BOR0  // Brown-out Reset disabled;
#pragma config PWRTEN = OFF  // Power-up Timer Enable bit
#pragma config I2C1SEL = PRI // Alternate I2C1 Pin Mapping bit
#pragma config BORV = V18    // Brown-out Reset set to lowest voltage
#pragma config MCLRE = ON    // MCLR pin enabled
// FICD
#pragma config ICS = PGx1 // PGC1/PGD1 are used for programming and debugging
// FDS
#pragma config DSWDTPS = DSWDTPSF // Deep Sleep Watchdog Timer Postscale bit
#pragma config DSWDTOSC = LPRC    // DSWDT uses LPRC
#pragma config RTCOSC = SOSC      // RTCC uses SOSC
#pragma config DSBOREN = OFF      // Deep Sleep BOR disabled
#pragma config DSWDTEN = OFF      // Deep Sleep Watchdog Timer Enable bit
```

```
#define USE_AND_OR

#include "xc.h"
#include <p24F16KA101.h>
#include <i2c.h>

volatile char write_byte;
    #define Fosc (8000000) // 8MHz crystal
    #define Fcy (Fosc*4/2) // w.PLL (Instruction Per Second)
    #define Fsck 400000    // 400 KHz I2C
    #define I2C1_BRG ((Fcy/2/Fsck)-1)
    #define SLAVE_ADD 15   // slave address

    typedef enum {
        STATE_WAIT_FOR_ADDR,
        STATE_WAIT_FOR_WRITE_DATA,
        STATE_SEND_READ_DATA,
        STATE_SEND_READ_LAST
    } STATE;
    volatile STATE e_mystate = STATE_WAIT_FOR_ADDR;

    #define BUFFSIZE 15
    volatile char  read_buffer[BUFFSIZE];  // master write slave read
    volatile char  write_buffer[BUFFSIZE]; // master read slave write
    volatile uint16_t buffer_index;

void __attribute__((__interrupt__, no_auto_psv )) _SI2C1Interrupt(void) {
    uint8_t u8_c;
    IFS1bits.SI2C1IF = 0;

    switch (e_mystate) {
    case STATE_WAIT_FOR_ADDR:
        u8_c = I2C1RCV; // clear RBF bit for address
        buffer_index = 0;

        if (I2C1STATbits.R_W) {
        // check the R/W bit and see if read or write transaction
            I2C1TRN = write_buffer[buffer_index]; // send first data byte
            buffer_index++;
            I2C1CONbits.SCLREL = 1;
            // release clock line so MASTER can drive it
            e_mystate = STATE_SEND_READ_DATA; // read transaction
        }
        else e_mystate = STATE_WAIT_FOR_WRITE_DATA;
        break;
```

```
    case STATE_WAIT_FOR_WRITE_DATA:
    // character arrived, place in buffer
       read_buffer[buffer_index] = I2C1RCV; // read the byte

       if (read_buffer[buffer_index] == 0) {
           e_mystate = STATE_WAIT_FOR_ADDR;
           // wait for next transaction
       }
       break;

    case STATE_SEND_READ_DATA:
       I2C1TRN = write_buffer[buffer_index];
       buffer_index++;
       I2C1CONbits.SCLREL = 1;
       // release clock line so MASTER can drive it
       if (write_buffer[buffer_index] == -1) e_mystate = STATE_SEND_READ_LAST;
       // last character, release the clock line again
       break;

    case STATE_SEND_READ_LAST:
    // this is interrupt for last character finished shifting out
        e_mystate = STATE_WAIT_FOR_ADDR;
        break;

    default:
       e_mystate = STATE_WAIT_FOR_ADDR;
   }
 }

int main (void) {
    unsigned int i;
    for(i = 0; i < BUFFSIZE; ++i) {
        read_buffer[i]  = 0;
        write_buffer[i] = 0;
    }
    read_buffer[BUFFSIZE - 1]  = -1;
    write_buffer[BUFFSIZE - 1] = -1;
```

```
//disable modules to make buttons work
AD1PCFG = 0b1101110000111111;
PMD1    = 0b0011100001101001;
PMD2    = 0b0000000000000001;
PMD3    = 0b0000011010000000;
PMD4    = 0b0000000000001110;
IEC0    = 0x0000;
IEC1    = 0x0000;
IEC3    = 0x0000;
IEC4    = 0x0000;
CTMUCONbits.CTMUEN  = 0;
OSCCONbits.SOSCEN   = 0;
REFOCONbits.ROEN    = 0;
RCFGCALbits.RTCEN   = 0;
RCFGCALbits.RTCOE   = 0;
SPI1STATbits.SPIEN  = 0;
SPI1CON1bits.DISSCK = 1;
SPI1CON1bits.DISSDO = 1;
OC1CONbits.OCM2     = 0;
OC1CONbits.OCM1     = 0;
OC1CONbits.OCM0     = 0;
HLVDCONbits.HLVDEN  = 0;
CTMUCONbits.CTMUEN  = 0;

TRISA = 0xFFFF;
TRISB = 0xFFFF;

I2C1CONbits.I2CEN   = 1;
I2C1CONbits.I2CSIDL = 0;
I2C1CONbits.IPMIEN  = 0;
I2C1CONbits.A10M    = 0;
I2C1CONbits.DISSLW  = 1;
I2C1CONbits.SMEN    = 0;
I2C1CONbits.GCEN    = 0;
I2C1CONbits.STREN   = 1;

I2C1BRG = I2C1_BRG;
I2C1ADD = SLAVE_ADD;

IFS1bits.SI2C1IF = 0;
IPC4bits.SI2C1P2 = 1;
IPC4bits.SI2C1P1 = 1;
IPC4bits.SI2C1P0 = 1;
IEC1bits.SI2C1IE = 1;
```

```
    while(1) {
        /******** Main Buttons ********/
        write_buffer[0]  = PORTAbits.RA1;
        write_buffer[1]  = PORTBbits.RB0;
        write_buffer[2]  = PORTBbits.RB1;
        write_buffer[3]  = PORTBbits.RB2;
        write_buffer[4]  = PORTAbits.RA2;
        write_buffer[5]  = PORTAbits.RA3;
        write_buffer[6]  = PORTBbits.RB4;
        write_buffer[7]  = PORTAbits.RA4;
        /********* Joystick ************/
        write_buffer[8]  = PORTBbits.RB15;
        write_buffer[9]  = PORTBbits.RB14;
        write_buffer[10] = PORTBbits.RB13;
        write_buffer[11] = PORTBbits.RB12;
        /******** Start+Select ********/
        write_buffer[12] = PORTAbits.RA6;
        write_buffer[13] = PORTBbits.RB7;
    }
    return 0;
}
```

B. uinput.c

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <unistd.h>
#include <fcntl.h>
#include <errno.h>

#include <linux/input.h>
#include <linux/uinput.h>
#include <bcm2835.h>

#define die(str, args...) do { \
        perror(str); \
        exit(EXIT_FAILURE); \
    } while(0)

// I2C SETTINGS
#define MODE_READ  0
#define MODE_WRITE 1
#define MAX_LEN 14

typedef enum {
    NO_ACTION,
    I2C_BEGIN,
    I2C_END
} i2c_init;

uint8_t init = I2C_BEGIN;
uint16_t clk_div = BCM2835_I2C_CLOCK_DIVIDER_626;
uint8_t slave_address = 0x0F;
uint32_t len = MAX_LEN;
uint8_t mode = MODE_READ;

char buf[MAX_LEN];
int i= 0;
uint8_t data;
// END OF I2C SETTINGS
```

```
// get i2C data on buf[]
void get_i2c() {
  for(i = 0; i < MAX_LEN; ++i) buf[i] = 0;

  if(init == I2C_BEGIN) {
    if(!bcm2835_i2c_begin()) {
      printf("begin failed, root\n");
    }
  }

  bcm2835_i2c_setSlaveAddress(slave_address);
  bcm2835_i2c_setClockDivider(clk_div);

  for(i = 0; i < MAX_LEN; ++i) {
    data = bcm2835_i2c_read(buf, len);
  }

  if(init == I2C_END) bcm2835_i2c_end();
}

void emit(int fd, int type, int code, int val) {
// send a key stroke to OS

   struct input_event ie;
   ie.type = type;
   ie.code = code;
   ie.value = val;
   // timestamp values below are ignored
   ie.time.tv_sec = 0;
   ie.time.tv_usec = 0;

   if(write(fd, &ie, sizeof(ie)) == -1) die("error: write");
}

int main(void) {

    if(!bcm2835_init()){
      printf("init failed, root\n");
      return 1;
    }

    // SETTING UINPUT
    struct uinput_user_dev usetup;
    int fd = open("/dev/uinput", O_WRONLY | O_NONBLOCK);
    if(fd < 0) die("error: open");
```

```
// add keystroke and repeat events
if(ioctl(fd, UI_SET_EVBIT, EV_KEY) == -1) die("error: ioctl");
if(ioctl(fd, UI_SET_EVBIT, EV_REP) == -1) die("error: ioctl");
// add joystick amd button keys
if(ioctl(fd, UI_SET_KEYBIT, KEY_W) == -1) die("error: ioctl");
if(ioctl(fd, UI_SET_KEYBIT, KEY_A) == -1) die("error: ioctl");
if(ioctl(fd, UI_SET_KEYBIT, KEY_S) == -1) die("error: ioctl");
if(ioctl(fd, UI_SET_KEYBIT, KEY_D) == -1) die("error: ioctl");
if(ioctl(fd, UI_SET_KEYBIT, KEY_0) == -1) die("error: ioctl");
if(ioctl(fd, UI_SET_KEYBIT, KEY_1) == -1) die("error: ioctl");
if(ioctl(fd, UI_SET_KEYBIT, KEY_2) == -1) die("error: ioctl");
if(ioctl(fd, UI_SET_KEYBIT, KEY_3) == -1) die("error: ioctl");
if(ioctl(fd, UI_SET_KEYBIT, KEY_4) == -1) die("error: ioctl");
if(ioctl(fd, UI_SET_KEYBIT, KEY_5) == -1) die("error: ioctl");
if(ioctl(fd, UI_SET_KEYBIT, KEY_6) == -1) die("error: ioctl");
if(ioctl(fd, UI_SET_KEYBIT, KEY_7) == -1) die("error: ioctl");
if(ioctl(fd, UI_SET_KEYBIT, KEY_8) == -1) die("error: ioctl");
if(ioctl(fd, UI_SET_KEYBIT, KEY_9) == -1) die("error: ioctl");

// set device information
memset(&usetup, 0, sizeof(usetup));
usetup.id.bustype = BUS_USB;
usetup.id.vendor  = 0x0001; /* sample vendor  */
usetup.id.product = 0x0002; /* sample product */
usetup.id.version = 0x0003; /* sample version */
strcpy(usetup.name, "Arcade Machine Analog and Buttons");

if(write(fd, &usetup, sizeof(usetup)) == -1) die("error: write");
if(ioctl(fd, UI_DEV_CREATE) == -1) die("error: ioctl");
sleep(2);
```

```
    while(1) {
    // get PIC data into buf[]
        get_i2c();
        // send all key status
        emit(fd, EV_KEY, KEY_0, buf[0]);
        emit(fd, EV_KEY, KEY_1, buf[1]);
        emit(fd, EV_KEY, KEY_2, buf[2]);
        emit(fd, EV_KEY, KEY_3, buf[3]);
        emit(fd, EV_KEY, KEY_4, buf[4]);
        emit(fd, EV_KEY, KEY_5, buf[5]);
        emit(fd, EV_KEY, KEY_6, buf[6]);
        emit(fd, EV_KEY, KEY_7, buf[7]);
        emit(fd, EV_KEY, KEY_8, buf[8]);
        emit(fd, EV_KEY, KEY_9, buf[9]);
        emit(fd, EV_KEY, KEY_W, buf[10]);
        emit(fd, EV_KEY, KEY_A, buf[11]);
        emit(fd, EV_KEY, KEY_S, buf[12]);
        emit(fd, EV_KEY, KEY_D, buf[13]);
        // report all keys at once
        emit(fd, EV_SYN, SYN_REPORT, 0);
        // wait some time until next poll
        delay(45);
    }

    sleep(1);

    if(ioctl(fd, UI_DEV_DESTROY) == -1) die("error: ioctl");
    close(fd);
        bcm2835_close();

    return 0;
}
```

C. rc.local

```
#!/bin/sh -e
#
# rc.local
#
# This script is executed at the end of each multiuser runlevel.
# Make sure that the script will "exit 0" on success or any other
# value on error.
#
# In order to enable or disable this script just change the execution
# bits.
#
# By default this script does nothing.

# Print the IP address
_IP=$(hostname -I) || true
if [ "$_IP" ]; then
  printf "My IP address is %s\n" "$_IP"
fi

sudo /home/pi/ArcadeMachine-TFG/./uinput2 &
sleep 2

sudo /opt/retropie/supplementary/xboxdrv/bin/xboxdrv \
    --evdev /dev/input/event2 \
    --silent \
    --detach-kernel-driver \
    --force-feedback \
    --deadzone-trigger 15% \
    --deadzone 4000 \
    --mimic-xpad \
    --dpad-as-button \
    --evdev-keymap KEY_W=du,KEY_A=dl,KEY_S=dd,KEY_D=dr,KEY_1=start, \
                   KEY_2=back,KEY_3=a,KEY_4=b,KEY_5=x,KEY_6=y, \
                   KEY_7=lb,KEY_8=rb,KEY_9=tl,KEY_0=tr \
    &

exit 0
```